

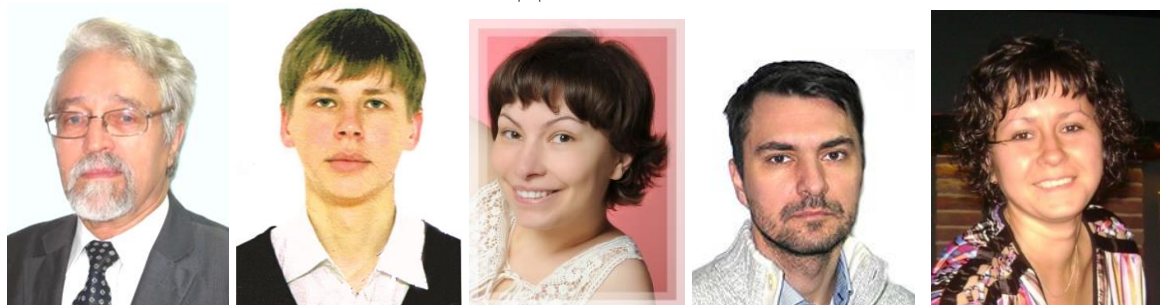
УДК 630*231

*В.А. Усольцев^{1,2}, К.В. Колчин¹, Ю.В. Норицина², Азарёнок М.В.¹,
Богословская О.А.¹*

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург

² Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург

СМЕЩЕНИЯ ВСЕОБЩИХ ВИДОСПЕЦИФИЧНЫХ АЛЛОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ЛОКАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ БИОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ, КЕДРА И ПИХТЫ



Ключевые слова: двух- и пятихвойные сосны, пихты, аллометрические модели, фитомасса дерева, пробные площади, региональные различия, стандартные и систематические ошибки.

На основе сформированной базы данных о биомассе деревьев двух- и пятихвойных сосен и пихт в количестве 1234 определений построены аллометрические модели четырёх структурных форм, включающие в себя фиктивные переменные, которые дают возможность дать региональные оценки их надземной биомассы по известным морфометрическим показателям (диаметр ствола и кроны, высота дерева). Предложенные аллометрические модели свидетельствуют об их адекватности фактическим данным с коэффициентом детерминации от 0,725 до 0,990 (исключение составила зависимость надземной биомассы от диаметра кроны пихты с коэффициентом детерминации 0,430) и могут применяться при региональных оценках биомассы деревьев трёх древесных пород. Однако всеобщие аллометрические модели, построенные по всему массиву фактических данных, дают в экорегионах слишком большие стандартные ошибки (до 572%) и неприемлемые смещения обоих знаков (от +315 до -92%), что исключает возможность их применения на региональных уровнях.

V.A. Usoltsev, K.V. Kolchin, Yu.V. Noritsina, Azarenok M.V., Bogoslovskaya O.A.

BIASES OF GENERIC SPECIES-SPECIFIC ALLOMETRIC MODELS WHEN LOCAL ESTIMATING TREE BIOMASS OF FIRS AND 2- OR 5-NEEDED PINES (*Abies* Mill., *Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* Du Tour)

Key words: 2- or 5-needled pines, firs, allometric models, tree biomass, sample plots, regional differences, standard errors, biases.

On the basis of the compiled database of tree biomass of 2- or 5-needled pines and firs at a number of 1234 trees, allometric models of the four modifications are designed, which include the block of independent dummy variables. These models provide an opportunity to give regional estimates of tree above-ground biomass when using some known mass-forming indices (stem and crown diameter and tree height). Allometric models proposed are indicative of their adequacy for the actual data having the coefficients of determination between 0,725 and 0,990 (the only exception was the dependence of fir biomass upon crown diameter with a

coefficient of determination 0,430) and can be applied in regional estimating above-ground biomass of the above-mentioned tree species. However, generic allometric models built using the total quantity of actual data give in different ecoregions too large standard errors (up to 572%) and unacceptable both positive and negative biases (from + 315 to -92%), that excludes any possibility of their application at regional levels.

Норицина Юлия Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер лаборатории популяционной биологии и динамики лесов Ботанического сада Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург). Тел. 8-909-7010826; e-mail: Juzllnorice@inbox.ru.

Noritsina Yulia Vladimirovna – PhD, engineer of the laboratory of population biology and dynamics of forests at the Botanical Garden of the Ural branch of the RAS (Yekaterinburg). Phone: 8-909-7010826; e-mail: Juzllnorice@inbox.ru.

Азарёнок Максим Васильевич - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры менеджмента и управления качеством Института экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург). Тел.: (343)261-52-70; e-mail: Azarenok_96@mail.ru.

Azarenok Maksim Vasilievich - PhD, Associate Professor of the Department of Quality Management at the Ural State Forest Engineering University (Yekaterinburg). Phone: (343)261-52-70; e-mail: Azarenok_96@mail.ru.

Богословская Ольга Анатольевна - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры менеджмента и управления качеством Института экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета (Екатеринбург). Тел.: (343)261-52-70; e-mail: bogoslovskayaolga@yandex.ru.

Bogoslovskaya Olga Anatolievna - PhD, Associate Professor of the Department of Quality Management at the Ural State Forest Engineering University (Yekaterinburg). Phone: (343)261-52-70; e-mail: bogoslovskayaolga@yandex.ru.

Введение

Одним из способов количественной оценки углеродного обмена в лесном покрове является определение изменений в запасах его фитомассы и углерода со временем. Запас фитомассы на единице площади начинается с определения его на уровне отдельных деревьев. Известно строгое и устойчивое аллометрическое соотношение между фитомассой дерева и его диаметром (простая аллометрия), или между фитомассой дерева и несколькими массообразующими (морфометрическими) показателями (многофакторная аллометрия). В настоящее время в разных странах проводятся интенсивные исследования применимости так называемых «всеобщих» аллометрических моделей (generic, generalized, common models), которые обеспечивали бы аллометрической модели приемлемую точность при оценке фитомассы насаждений. Хотя то или иное всеобщее уравнение характеризуется высокими показателями адекватности, в наших предыдущих работах показано, что его использование при определении фитомассы деревьев ели (Усольцев и др., 2017а) и лиственницы (Усольцев и др., 2017б) в локальных географических регионах даёт неприемлемые смещения.

Цель и методика исследований

Настоящее исследование посвящено анализу смещений всеобщих видоспецифичных аллометрических уравнений двух- и пятихвойных сосен и пихт при локальной оценке фитомассы деревьев названных древесных видов. При оценке названных смещений принят метод фиктивных переменных (Дрейпер, Смит, 1973; Усольцев и др.,

2017а,б). Из сформированной базы данных (Усольцев, 2016; Usoltsev, 2016) взяты фактические данные фитомассы деревьев 2-хвойных сосен (710 и 282 определения соответственно в естественных сосняках и культурах), 5-хвойных сосен (225 определений) и пихт (250 определений) и по известным координатам пробных площадей нанесены на карты-схемы экорегионов Евразии (рис. 1, 2, 3). Выполнена кодировка экорегионов фиктивными переменными (табл. 1), и в качестве нулевого варианта принят общий массив данных.

В качестве базовой модели принята аллометрическая зависимость надземной фитомассы (P_a , кг) дерева в четырёх вариантах: (1) от диаметра ствола на высоте груди (D , см), (2) от диаметра ствола и высоты дерева (H , м), (3) от диаметра (ширины) кроны (D_{cr} , м) и (4) от диаметра кроны и высоты дерева.

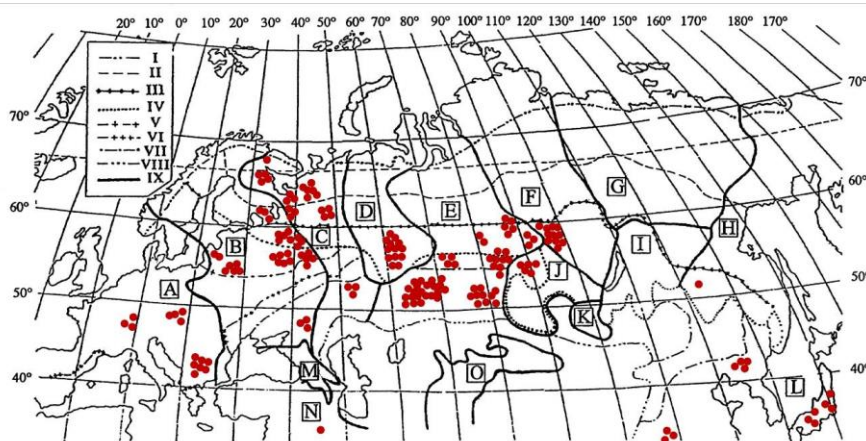


Рис. 1. География фактических данных о фитомассе деревьев 2-хвойных сосен (подрод *Pinus*).

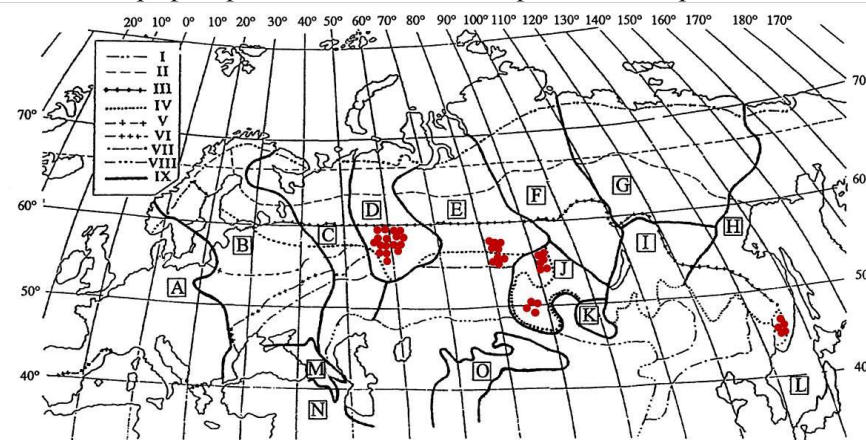


Рис. 2. География фактических данных о фитомассе деревьев 5-хвойных сосен (кедров).

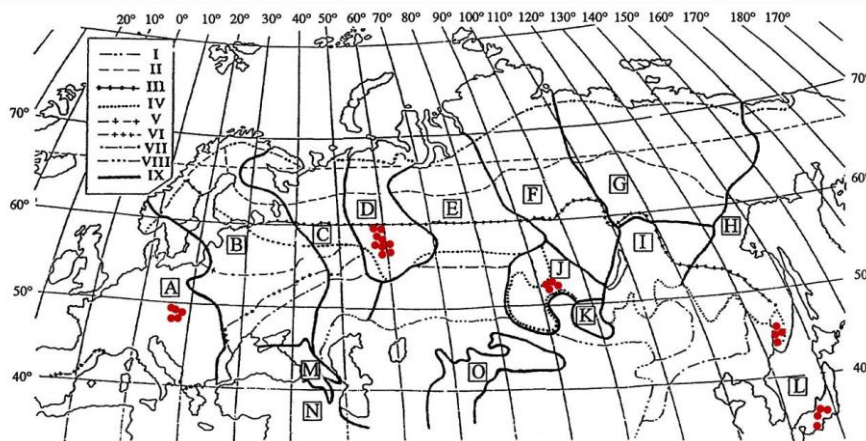


Рис. 3. География фактических данных о фитомассе деревьев пихт.

Обозначения на рис. 1-3: **I** – южная граница тундры; **II** – южная граница подзоны северной тайги; **III** – южная граница подзоны средней тайги; **IV** – южная граница подзоны южной тайги; **V** – южная граница хвойно-широколиственных лесов; **VI** – юго-восточная граница широколиственных лесов; **VII** – южная граница лесостепи; **VIII** – южная граница степи (Базилевич, Родин, 1967). **IX** – границы лесохозяйственных провинций Сибири. Выделены провинции (Курнаев, 1973; Смагин и др., 1978; Коротков, 1978): **A** – Средне-Европейская; **B** – Скандинавско-Русская (включая юг Русской равнины); **C** – Восток Русской равнины (включая Западно-Казахстанскую провинцию на юге); **D** – Уральская; **E** – Западно-Сибирская (включая Восточно-Казахстанскую провинцию на юге); **F** – Средне-Сибирская; **G** – Восточно-Сибирская; **H** – Дальний Восток; **I** – Забайкальская горная; **J** – Алтае-Саянская горная; **K** – Центрально-Хангайская; **L** – Японские острова; **M** – Причерноморская; **N** – Кавказско-Малоазиатская; **O** – Памиро-Тяньшаньская.

Таблица 1

Схема кодирования региональных и нулевого (общего) массива фактических данных фитомассы деревьев 2- и 5-хвойных сосен и пихт

Экорегiónы	Вид	Блок фиктивных переменных					Число деревьев
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	
Двухвойные сосны, естественные древостой							
Все экорегiónы,	-	0	0	0	0	0	710
в том числе:							
Тургайский прогиб, степь	<i>Pinus sylvestris</i> L.	1	0	0	0	0	273
Казахский Мелко- сопочник, степь	<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	1	0	0	0	95
Западная Сибирь	<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	0	1	0	0	136
Алтай	<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	0	0	1	0	93
Средняя Сибирь	<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	0	0	0	1	113
Двухвойные сосны, культуры							
Все экорегiónы,	-	0	0	0	0	-	282
в том числе:							
Чехия	<i>Pinus sylvestris</i> L.	1	0	0	0	-	15
Россия, север	<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	1	0	0	-	27
Тургай, степь	<i>Pinus sylvestris</i> L.	0	0	1	0	-	222
Япония	<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	0	0	0	1	-	18
Пятихвойные сосны							
Все экорегiónы,	-	0	0	0	0	-	112
в том числе:							
Средний Урал	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.	1	0	0	0	-	60
Западная Сибирь	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.	0	1	0	0	-	15
Средняя Сибирь	<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.	0	0	1	0	-	30
Приморье	<i>Pinus koraiensis</i> S. et Z..	0	0	0	1	-	7
Пихты							
Все экорегiónы,	-	0	0	0	0	-	130
в том числе:							
Чехия	<i>Abies alba</i> Mill.	1	0	0	0	-	20
Средний Урал	<i>Abies sibirica</i> L.	0	1	0	0	-	80
Приморье	<i>Abies holophylla</i> Maxim.	0	0	1	0	-	14
Япония	<i>Abies veitchii</i> Lindl.	0	0	0	1	-	16

Таблица 2

Характеристика аллометрических уравнений (1)-(4)

Двухвойные сосны, естественные древостой								
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых переменных						
		a_0	a_1X_1	a_2X_2	a_3X_3	a_4X_4	a_5X_5	$a_6(\ln D)$
$\ln(Pa)$	(1)	-2,2696	0,0139	0,0856	0,0134	-0,0798	-0,0573	2,3313
	(2)	-2,3115	-0,0250	0,0553	-0,0697	-0,1285	0,2385	1,4165
	(3)	1,3827	-0,1698	0,3240	0,2890	0,1280	-0,2067	-
	(4)	-3,2008	-0,0902	0,2292	-0,0646	-0,0155	0,4750	-
Двухвойные сосны, естественные древостой. Продолжение таблицы 2								
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых перемен- ных				R^{2*}	SE*	
		$a_7(\ln H)$	$a_8(\ln Dcr)$	$a_9(\ln D)(\ln H)$	$a_{10}(\ln Dcr)(\ln H)$			
$\ln(Pa)$	(1)	-	-	-	-	0,976	0,36	
	(2)	0,4039	-	0,1939	-	0,990	0,23	
	(3)	-	2,9863	-	-	0,816	0,96	
	(4)	2,3239	0,7848	-	0,1415	0,969	0,39	
Двухвойные сосны, культуры								
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых переменных						
		a_0	a_1X_1	a_2X_2	a_3X_3	a_4X_4	$a_5(\ln D)$	
$\ln(Pa)$	(1)	-1,7420	0,3217	0,2793	-0,0745	0,2029	2,0390	
	(2)	-0,9948	0,0924	0,2975	-0,0610	0,2053	1,2060	
	(3)	0,6439	0,6541	0,5099	-0,0668	-0,2090	-	
	(4)	-1,7457	-0,0706	0,0250	-0,0239	0,3971	-	
Двухвойные сосны, культуры. Продолжение таблицы 2								
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых перемен- ных				R^{2*}	SE*	
		$a_6(\ln H)$	$a_7(\ln Dcr)$	$a_8(\ln D)(\ln H)$	$a_9(\ln Dcr)(\ln H)$			
$\ln(Pa)$	(1)	-	-	-	-	0,954	0,33	
	(2)	-0,4805	-	0,4430	-	0,978	0,23	
	(3)	-	2,7441	-	-	0,725	0,87	
	(4)	1,6309	0,5332	-	1,6309	0,921	0,47	
Пятихвойные сосны								
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых переменных						
		a_0	a_1X_1	a_2X_2	a_3X_3	a_4X_4	$a_5(\ln D)$	
$\ln(Pa)$	(1)	-1,6453	-0,1240	0,2929	-0,0018	0,4427	2,0460	
	(2)	-0,8644	-0,0384	-0,1797	0,1148	0,2225	1,2502	
	(3)	0,3903	-0,0442	0,0348	0,1285	0,0753	-	
	(4)	-1,0768	-0,0187	-0,2539	0,4157	-0,1399	-	
Пятихвойные сосны. Продолжение таблицы 2								
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых перемен- ных				R^{2*}	SE*	
		$a_6(\ln H)$	$a_7(\ln Dcr)$	$a_8(\ln D)(\ln H)$	$a_9(\ln Dcr)(\ln H)$			
$\ln(Pa)$	(1)	-	-	-	-	0,952	0,40	
	(2)	-0,2896	-	0,3233	-	0,974	0,30	
	(3)	-	2,8657	-	-	0,801	0,81	
	(4)	1,4337	0,5474	-	0,3255	0,941	0,44	

Пихты							
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых переменных					
		a_0	a_1X_1	a_2X_2	a_3X_3	a_4X_4	$a_5(\ln D)$
$\ln(Pa)$	(1)	-1,6998	0,1711	-0,00863	-0,0480	-0,2051	2,2377
	(2)	-0,3054	0,1378	-0,0519	0,0513	0,0731	1,0170
	(3)	3,0224	-0,1985	0,1910	-1,0215	-1,1658	-
	(4)	-3,2507	-0,1701	0,00336	0,0172	1,1706	-
Пихты. Продолжение таблицы 2							
Независи- мая пере- менная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых перемен- ных				R^2 *	SE*
		$a_6(\ln H)$	$a_7(\ln Dcr)$	$a_8(\ln D)(\ln H)$	$a_9(\ln Dcr)(\ln H)$		
$\ln(Pa)$	(1)	-	-	-	-	0,965	0,29
	(2)	-0,2921	-	0,3550	-	0,985	0,19
	(3)	-	1,7539	-	-	0,430	0,85
	(4)	2,5639	0,7521	-	-	0,940	0,28

* R^2 – коэффициент детерминации, SE – стандартная ошибка уравнения.

Результаты исследований

За основу регрессионного анализа фактических данных фитомассы деревьев, упомянутых в табл. 1, взята аллометрическая модель, структурированная в соответствии с нашими схемами кодирования фиктивных переменных (см. табл. 1). В результате выполненных расчётов получены четыре уравнения, характеристика которых дана в табл. 2. Все константы уравнений значимы на уровне вероятности P_{95} и выше, и уравнения адекватны фактическим данным. Произведения переменных $(\ln D)(\ln H)$ и $(\ln Dcr)(\ln H)$ в уравнениях соответственно (2) и (4) (см. табл. 2) характеризуют совместное действие диаметра ствола ($\ln D$) и высоты дерева ($\ln H$) в первом случае и диаметра кроны ($\ln Dcr$) и высоты дерева ($\ln H$) во втором. Соотношения расчётных и фактических данных по уравнению (2) без учёта и с учётом синергизма $(\ln D)(\ln H)$ показаны на рис. 2, а такие же соотношения по уравнению (4) без учёта и с учётом синергизма $(\ln Dcr)(\ln H)$ – на рис. 3. Очевидна неоднородность дисперсии остатков (Wirth et al., 1999), вследствие которой расчётные значения фитомассы у мелких деревьев занижаются.

Причина такого смещения в соотношении $Pa = f(D, H)$ состоит в том, что при высоте дерева менее 7-10 м диаметр на высоте груди смещается в область кроны, (а у дерева, например, высотой 1,35-1,30 м – это диаметр осевого побега последнего года), нарушая тем самым аллометрическое соотношение. Константы по Стьюденту при переменной $(\ln D)(\ln H)$ значимы на уровне вероятности P_{05} и выше, и величина критерия Стьюдента находится во всех случаях выше табличной ($t_{\text{факт}} = 11,3 \div 23,4 > t_{\text{табл}} = 2,0$), и также при переменной $(\ln Dcr)(\ln H)$ для 2- и 5-хвойных сосен ($t_{\text{факт}} = 4,5 \div 8,6 > t_{\text{табл}} = 2,0$), а для пихт она оказалась ниже табличной ($t_{\text{факт}} = 0,17 < t_{\text{табл}} = 2,0$), и эта переменная исключена из структуры модели.

Уравнения (1)-(4), приведённые в табл. 2, можно использовать при региональных оценках фитомассы названных древесных видов на основе измерительной таксации древостоев.

Необходимо выяснить, насколько применимы всеобщие аллометрические модели при оценке фитомассы деревьев названных древесных видов в локальных условиях экорегионов. После исключения фиктивных переменных всеобщие модели (1)-(4) получили вид (5)-(8) (табл. 3) при тех же показателях адекватности, что и в табл. 2.

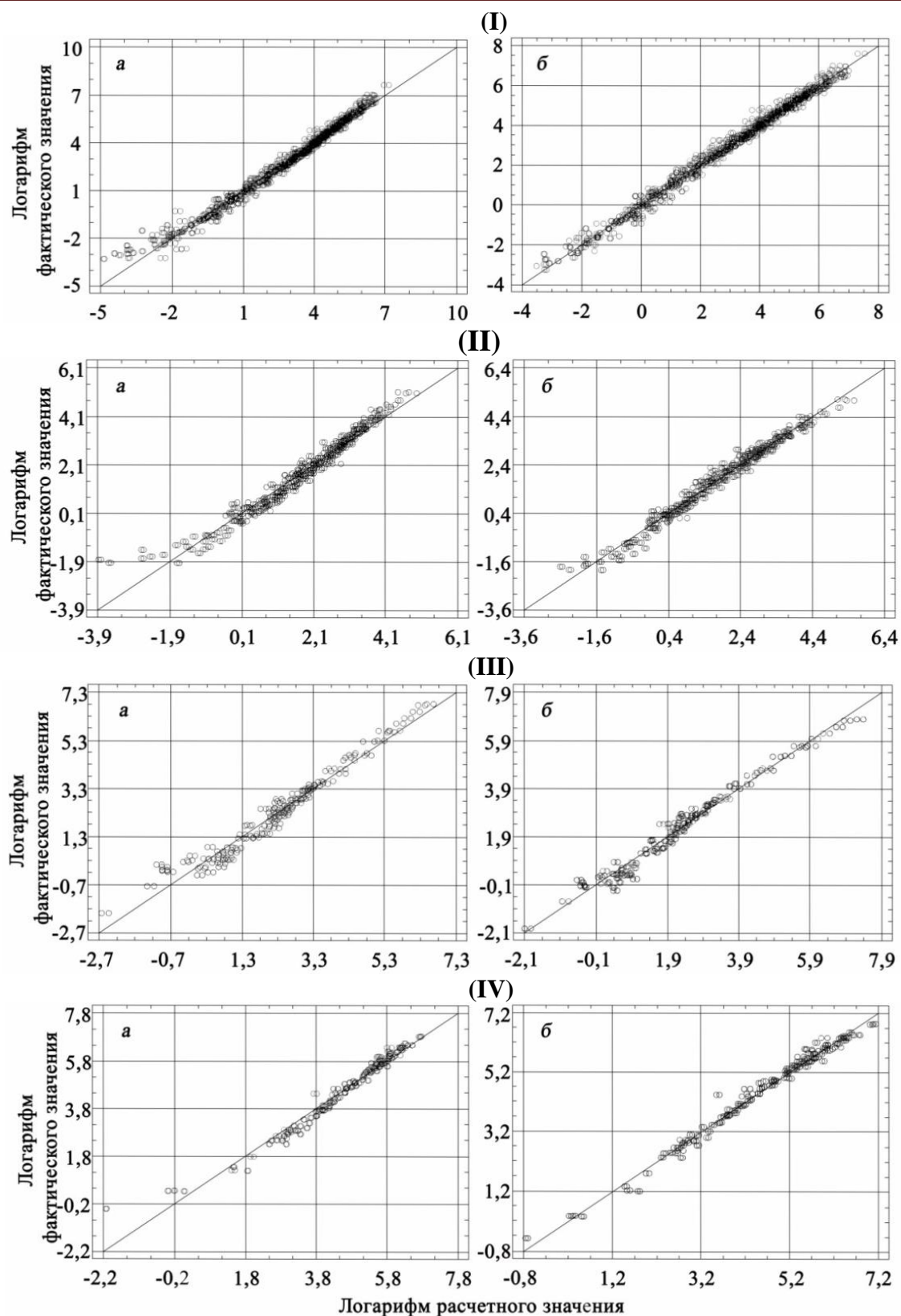


Рис. 2. Графическое визуальное подтверждение неоднородности дисперсии остатков (а) и её отсутствия после введения в уравнение (2) синергизма $(\ln D)(\ln H)$ (б). (I) – двухвойные сосны, естественные древостои; (II) – двухвойные сосны, культуры; (III) – пятихвойные сосны и (IV) – пихты.

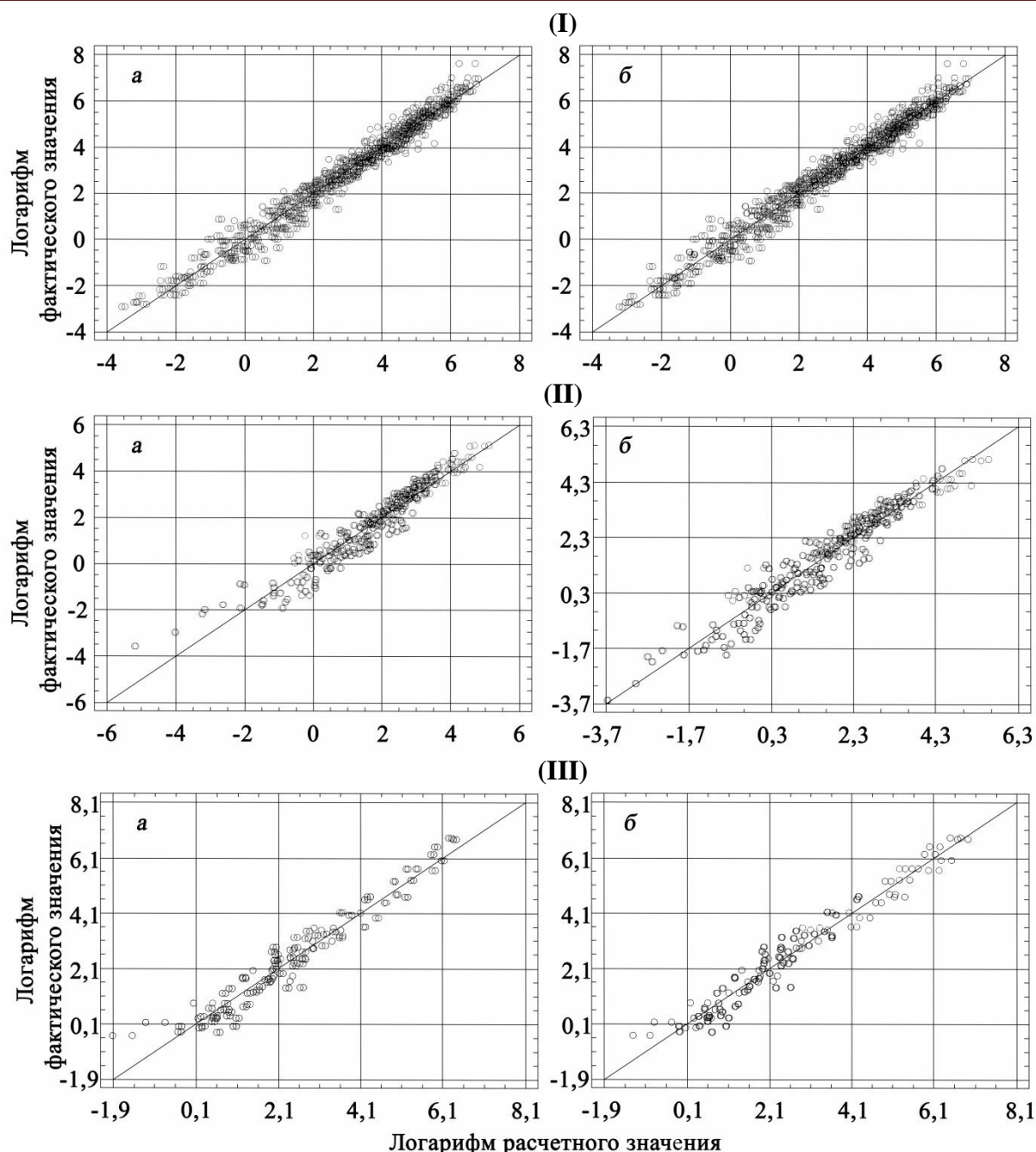


Рис. 3. Графическое визуальное подтверждение неоднородности дисперсии остатков (а) и её отсутствия после введения в уравнение (4) синергизма $(\ln Dcr)(\ln H)$ (б). (I) – двухвойные сосны, естественные древостои; (II) – двухвойные сосны, культуры; (III) – пятихвойные сосны. Для пихт синергизм $(\ln Dcr)(\ln H)$ статистически незначим ($t_{\text{факт}} = 0,17 < t_{\text{табл}} = 2,0$).

Таблица 3

Характеристика аллометрических уравнений (5)-(8)

Незави- симая пе- ременная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых переменных					
		a ₀	a ₁ (ln <i>D</i>)	a ₂ (ln <i>H</i>)	a ₃ (ln <i>Dcr</i>)	a ₄ (ln <i>D</i>)(ln <i>H</i>)	a ₅ (ln <i>Dcr</i>)(ln <i>H</i>)
Двухвойные сосны, естественные древостои							
ln(<i>Pa</i>)	(5)	-2,2696	2,3313	-	-	-	-
	(6)	-2,3115	1,4165	0,4039	-	0,1939	-
	(7)	1,3827	-	-	2,9863	-	-
	(8)	-3.2008	-	2.3239	0.7848	-	0.1415

Продолжение таблицы 3

Незави- симая пе- ременная	Номер урав- нения	Константы уравнений при их независимых переменных					
		a ₀	a ₁ (ln <i>D</i>)	a ₂ (ln <i>H</i>)	a ₃ (ln <i>Dcr</i>)	a ₄ (ln <i>D</i>)(ln <i>H</i>)	a ₅ (ln <i>Dcr</i>)(ln <i>H</i>)
Двухвойные сосны, культуры							
ln(<i>Pa</i>)	(5)	-1,7420	2,0390	-	-	-	-
	(6)	-0,9948	1,2060	-0,4805	-	0,4430	-
	(7)	0,6439	-	-	2,7441	-	-
	(8)	-1,7457	-	1,6309	0,5332	-	0,3755
Пятихвойные сосны							
ln(<i>Pa</i>)	(5)	-1,6453	2,0460	-	-	-	-
	(6)	-0,8644	1,2502	-0,2896	-	0,3233	-
	(7)	0,3903	-	-	2,8657	-	-
	(8)	-1,0768	-	1,4337	0,5474	-	0,3255
Пихты							
ln(<i>Pa</i>)	(5)	-1,6998	2,2377	-	-	-	-
	(6)	-0,3054	1,0170	-0,2921	-	0,3550	-
	(7)	3,0224	-	-	1,7539	-	-
	(8)	-3,2507	-	2,5639	0,7521	-	-

Путём табулирования уравнений (5)-(8) по фактическим данным деревьев каждого экорегиона получены расчётные показатели фитомассы, и сопоставлением последних с фактическими рассчитаны стандартные ошибки при оценке фитомассы в регионах с помощью всеобщих моделей, а также соответствующие смещения (табл. 4).

Закключение. Аллометрические модели, полученные на основе фактических данных о фитомассе деревьев 2- и 5-хвойных сосен и пихт и включающие в себя фиктивные переменные, дают возможность выполнить региональные оценки их фитомассы по известным морфометрическим показателям (диаметр ствола и кроны, высота дерева). Коэффициент детерминации уравнения зависимости фитомассы от диаметра ствола (см. табл. 2) существенно выше, чем в зависимости фитомассы от диаметра кроны ($0,952 \div 0,976 > 0,430 \div 0,816$), он существенно выше также в двухфакторной зависимости фитомассы от диаметра ствола и высоты дерева по сравнению с зависимостью фитомассы от диаметра кроны и высоты дерева ($0,974 \div 0,990 > 0,921 \div 0,969$). Все полученные региональные видоспецифичные модели свидетельствуют об их адекватности фактическим данным и могут применяться при региональных оценках фитомассы деревьев того или иного древесного вида.

Таблица 4

Ошибки определения фитомассы деревьев в экорегионах по всеобщим моделям (1)-(4)

Экорегиян	Номер уравнения	Независимые численные пе- ременные	Ошибка, %	
			Стандартная	Систематиче- ская
Двухвойные сосны, естественные древостой				
Тургайский прогиб, степь	(1)	D	25,5	2,4
	(2)	D, H	18,8	3,3
	(3)	Dcr	257,7	94,3
	(4)	Dcr, H	92,0	-91,6
Казахский Мелкосо- почник, степь	(1)	D	17,6	-6,9
	(2)	D, H	12,3	-4,7
	(3)	Dcr	60,1	-8,4
	(4)	Dcr, H	31,1	-17,2

Продолжение таблицы 4

Экорегион	Номер уравнения	Независимые численные переменные	Ошибка, %	
			Стандартная	Систематическая
Западная Сибирь	(1)	D	29,9	2,5
	(2)	D, H	27,3	10,0
	(3)	Dcr	134,5	19,1
	(4)	Dcr, H	48,6	12,5
Алтай	(1)	D	36,8	13,0
	(2)	D, H	27,1	15,1
	(3)	Dcr	130,7	19,8
	(4)	Dcr, H	27,3	5,2
Средняя Сибирь	(1)	D	145,3	40,3
	(2)	D, H	61,9	-5,7
	(3)	Dcr	150,7	39,7
	(4)	Dcr, H	49,7	-30,3
Двухвойные сосны, культуры				
Чехия	(1)	D	33,7	-25,4
	(2)	D, H	21,8	-7,1
	(3)	Dcr	53,5	-37,4
	(4)	Dcr, H	41,4	13,9
Россия, север	(1)	D	30,4	-22,0
	(2)	D, H	28,7	-24,5
	(3)	Dcr	42,6	-37,5
	(4)	Dcr, H	20,4	-0,4
Тургай, степь	(1)	D	32,2	12,6
	(2)	D, H	25,3	8,8
	(3)	Dcr	152,3	54,4
	(4)	Dcr, H	63,1	15,5
Япония	(1)	D	39,7	-13,8
	(2)	D, H	31,2	-15,4
	(3)	Dcr	190,2	74,3
	(4)	Dcr, H	45,1	-25,1
Пятихвойные сосны				
Средний Урал	(1)	D	39,2	18,4
	(2)	D, H	31,7	8,0
	(3)	Dcr	97,5	34,3
	(4)	Dcr, H	60,2	13,9
Западная Сибирь	(1)	D	39,8	-18,9
	(2)	D, H	30,0	21,1
	(3)	Dcr	169,7	-56,1
	(4)	Dcr, H	53,4	34,2

Продолжение таблицы 4

Экорегиян	Номер уравнения	Независимые численные переменные	Ошибка, %	
			Стандартная	Систематическая
Средняя Сибирь	(1)	D	52,6	11,5
	(2)	D, H	39,0	-4,9
	(3)	Dcr	93,3	-21,0
	(4)	Dcr, H	39,5	-30,6
Приморье	(1)	D	39,3	-35,0
	(2)	D, H	25,9	-18,8
	(3)	Dcr	52,5	-5,8
	(4)	Dcr, H	46,3	20,7
Пихты				
Чехия	(1)	D	22,7	-14,0
	(2)	D, H	22,5	-10,8
	(3)	Dcr	230,6	80,8
	(4)	Dcr, H	59,8	26,5
Средний Урал	(1)	D	30,4	5,3
	(2)	D, H	18,8	6,6
	(3)	Dcr	188,0	-37,4
	(4)	Dcr, H	26,4	-2,7
Приморье	(1)	D	25,4	7,4
	(2)	D, H	17,7	-3,4
	(3)	Dcr	572,4	315,5
	(4)	Dcr, H	33,7	-3,4
Япония	(1)	D	37,9	25,8
	(2)	D, H	23,6	-3,6
	(3)	Dcr	317,6	222,4
	(4)	Dcr, H	96,9	-67,9

С другой стороны, аллометрические зависимости фитомассы от диаметра кроны и высоты дерева при более высоких стандартных ошибках определения (в среднем 40%) в сравнении с зависимостями от диаметра ствола и высоты дерева (в среднем 24%) компенсируют этот недостаток преимуществом бортового лазерного зондирования – несопоставимой с наземной таксацией скоростью измерения диаметров кроны и высот деревьев, а также скоростью совмещения их с аллометрическими моделями в режиме реального времени.

Применение двухфакторных всеобщих видоспецифичных моделей в экорегиянах даёт меньшие стандартные ошибки определения фитомассы (в среднем 24 - 40%) по сравнению с простыми однофакторными уравнениями (в среднем 35 - 87%). Однако вследствие наличия больших стандартных ошибок (до 572%) и неприемлемых региональных смещений обоих знаков (от +311 до -92%) применение всеобщих аллометрических моделей четырёх исследованных видов на региональных уровнях неприемлемо.

Список использованной литературы

Базилевич Н.И., Родин Л.Е. Картограммы продуктивности и биологического круговорота главнейших типов растительности суши // Изв. ВГО. 1967. Т. 99. № 3. С. 190-194.

Дрейнер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.

Коротков И.А. Закономерности распределения лесов в Монгольской народной республике (География и типология) // Леса Монгольской народной республики. Т. 11. М.: Наука, 1978. С. 36-46.

Курнаев С.Ф. Лесорастительное районирование СССР. М.: Наука, 1973. 203 с.

Смагин В.Н., Семечкин И.В., Поликарпов Н.П., Тетенькин А.Е., Бузыкин А.И. Лесохозяйственное районирование Сибири // Лесные растительные ресурсы Сибири. Красноярск: ИЛИД СО АН СССР, 1978. С. 5-23.

Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 336 с. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/5696>).

Усольцев В.А., Колчин К.В., Воронов М.П. Фиктивные переменные и смещения всеобщих аллометрических моделей при локальной оценке фитомассы деревьев (на примере *Picea* L.) // Эко-потенциал. 2017а. № 1 (17). С. 22-39 (<http://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6502/1/eko-17-02.pdf>).

Усольцев В.А., Колчин К.В., Маленко А.А. Смещения всеобщих аллометрических моделей при локальной оценке фитомассы деревьев лиственницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017б. № 4 (150). С. 85-90 (<http://www.asau.ru/vestnik/2017/4/085-090.pdf>).

Usoltsev V.A. Single-tree biomass data for remote sensing and ground measuring of Eurasian forests. CD-version in English and Russian. Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University. 2016 (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6103>).

Wirth C., Schulze E.-D., Schulze W., von Stünzner-Karbe D., Ziegler W., Miljukova I.M. et al. Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by competition and fire // Oecologia. 1999. Vol. 121. P. 66-80.

Рецензент статьи: профессор Уральского государственного лесотехнического университета, доктор с.-х. наук В.А. Азарёнок.